



## Comportement et étude des graves-émulsion Coopération public-privé. Chantier expérimental de la RD 44: Suivi du comportement dans le temps

Louissette Wendling, Dominique Guedon, Lionel Odie, Jean Claude Fabre,  
Vincent Gaudefroy, Joël Siry, Jean Maurice Balay, Anne Millien, Chantal de  
La Roche

### ► To cite this version:

Louissette Wendling, Dominique Guedon, Lionel Odie, Jean Claude Fabre, Vincent Gaudefroy, et al..  
Comportement et étude des graves-émulsion Coopération public-privé. Chantier expérimental de la  
RD 44: Suivi du comportement dans le temps. Revue générale des routes, 2012, 899, pp 98-101.  
hal-00850785

**HAL Id: hal-00850785**

**<https://hal.science/hal-00850785>**

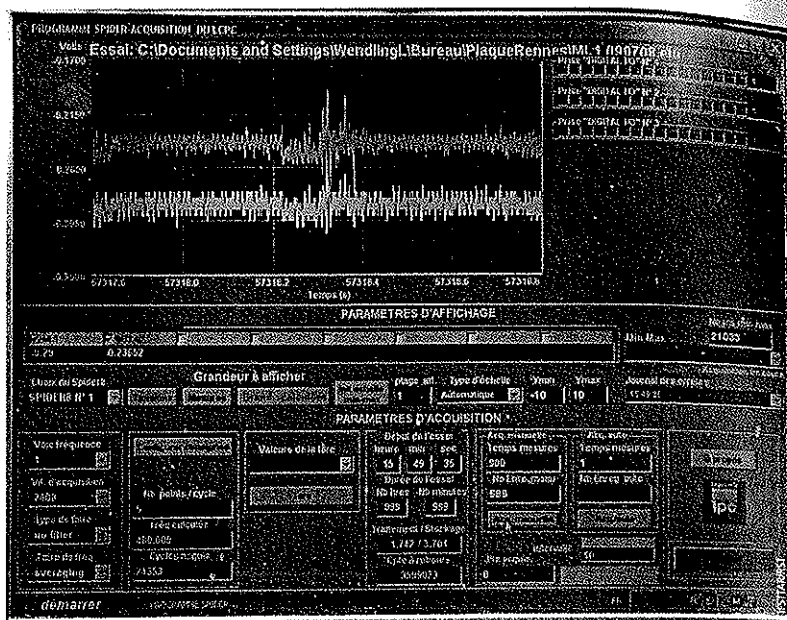
Submitted on 8 Aug 2013

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Vincent Gaudefroy  
Chargé de recherches  
Institut français des sciences  
et technologies des transports  
et des réseaux (IFSTTAR)

**Chantal de La Roche**  
Animateur d'axe  
« Economie d'énergie  
et de ressources naturelles »  
IESTAR



**Acquisition de données sur le site expérimental de la RD 44**  
Data acquisition on the RD 44 experimental site

## Introduction

Cet article est le second d'une série de deux consacrée au chantier expérimental instrumenté dans le département de l'Ille-et-Vilaine sur la RD44 [1]. Il présente les investigations effectuées en laboratoire sur le matériau prélevé sur chantier de façon à évaluer la pertinence des études ultérieures de laboratoire visant à définir la méthode de formulation de ces matériaux. Il explicite également le suivi temporel du comportement *in situ* de la GE et de la structure mise

en place grâce à des auscultations internes et externes.

### Caractérisations immédiates du mélange en laboratoire

Des caractérisations du mélange prélevé sur chantier ont été réalisées pour s'assurer de la pertinence de l'évaluation des propriétés de la GE fabriquée en laboratoire par rapport à une fabrication en centrale et obtenir un « point » zéro des propriétés [2]. Le module du matériau

mis en œuvre a ainsi été vérifié *a posteriori* sur des échantillons fabriqués à partir du mélange foisonné prélevé dans la vis du finisseur (fabrication industrielle), compactés en laboratoire puis mûris durant 14 jours dans une enceinte climatique réglée à 35 °C et à 20 % d'hygrométrie [3, 4].

De plus, des essais d'orniérage et de tenue à l'eau ont été effectués sur des échantillons fabriqués en laboratoire à partir d'une recombinaison du mélange avec les constituants utili-

sés sur le chantier. La fabrication a été réalisée avec un protocole spécifique permettant de se rapprocher de la fabrication industrielle (cf. article de la série à venir sur la fabrication).

### Evaluation de la rigidité

Des essais de module complexe en flexion sur éprouvettes trapézoïdales ont été réalisés sur des corps d'épreuve issus d'une plaque d'ornéage fabriquée à partir du matériau prélevé dans la vis du finisseur et mûrie en

laboratoire. La norme d'essai enrobé à chaud NF EN 12697-26 annexe A [5] a ainsi été transposée aux enrobés à l'émulsion de bitume. La valeur moyenne de la norme de module complexe mesurée à 15 °C – 10 Hz sur 5 échantillons est évaluée à 1 750 MPa avec un angle de phase associé de 27,9° [3].

## Résistance aux déformations permanentes

La norme d'essai enrobés à chaud NF EN 12697-22 [6] a été transposée aux enrobés à l'émulsion de bitume [3, 7]. Malgré un pourcentage de vides conséquent de 19 % (supérieur aux valeurs observées sur chantier), le pourcentage d'ornières maximum relevé à 30 000 cycles, sur les bancs d'essai de l'IFSTTAR, n'excède pas en moyenne 6,7 %.

## Tenue à l'eau

Les essais ont été réalisés conformément aux dispositions de la norme NF P 98-251-4 [8] dans trois laboratoires. Les résistances à la compression (R) obtenues varient de 4,37 à 4,67 MPa et le rapport résistance à la compression avec immersion/résistance à la compression sans immersion varie de 0,60 à 0,64. Ces valeurs respectent les prescriptions normatives (soit,  $R \geq 4$  MPa et  $r/R \geq 0,55$ ) du bitume de base 70/100 de l'émulsion imposée par la norme spécifications XP P 98-121 [9].

Comme pour la caractérisation de la maniabilité et de la compactabilité, ces résultats seront détaillés et complétés dans la suite de cette série d'articles en y associant d'autres résultats obtenus avec les reconstitutions de laboratoire et/ou les suivis temporels. Ces résultats serviront à établir également les relations entre le laboratoire et le chantier et les fondements de la méthode française de formulation de ces mélanges routiers élaborés à froid.

## Suivi du chantier expérimental – Evolution temporelle des indicateurs

### Historique des suivis

Après mise en œuvre, sept interventions de suivis bi-annuels ont été réalisées. Les mêmes indicateurs que ceux du point zéro avant mise en œuvre ont été relevés et complétés dès octobre 2008 par des prélèvements de matériau : carottages à sec en octobre 2008 (identification des conditions de collage) [10] et prélèvement de plaques, à partir du printemps 2009. Seule l'évolution temporelle des indicateurs pour lesquels les suivis ont pu être exploités ce jour est ici présentée.

### Sollicitations climatiques

Les données climatiques ont pu être mesurées sans interruption en 2009. Cela a permis d'établir des statistiques climatologiques mensuelles et annuelles comme dans l'exemple (figure 1) pour les précipitations cumulées mensuelles exprimées en mm. Au cours de cette période, la pluviométrie maximale a été observée pendant la période hivernale en janvier puis en novembre et décembre.

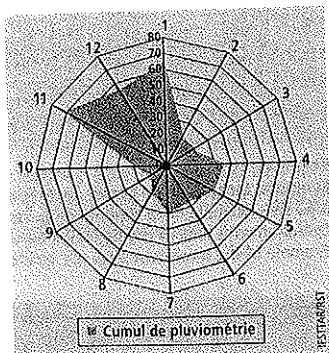


Figure 1  
Sollicitations climatiques -  
Exemple de traitement des données  
de pluviométrie recueillies en 2009  
Climatic conditions - Example of treatment  
of rain data recorded in 2009

### Indicateurs d'état ; mesures *in situ*

#### « Prise » de la GE

La GE a fait « prise » sur toute sa hauteur dans les huit jours qui ont suivi sa mise en œuvre.

Cette notion est définie comme l'état de consistance du matériau permettant de le scier *in situ* et d'obtenir un bloc « cohésif ». A contrario, lorsque qu'une GE n'a pas fait « prise », il est possible de retirer le matériau par petits morceaux à l'aide d'un simple tournevis, par exemple.

### Evolution du pourcentage de vides

Sur les trois zones investiguées, le pourcentage de vides décroît très rapidement 12 jours après la mise en œuvre puis se stabilise aux environs de 13 %, avec quelques légères variations saisonnières (figure 2).

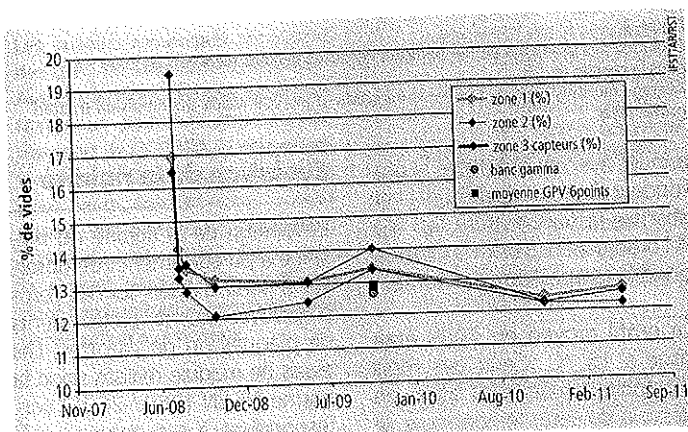


Figure 2  
Evolution du pourcentage de vides  
Void content evolution

Afin de valider la stabilisation observée, une carotte a été prélevée 10 mois après la mise en œuvre. Son pourcentage de vides moyen relevé au gammadensimètre était de 12,5 %. Autour de cette carotte, la moyenne de six mesures de densité au gammadensimètre à profondeur variable (GPV) réparties en étoile et distantes de 50 cm de l'axe du prélèvement confirme cette valeur de teneur en vides à 0,4 % près (photo 1).

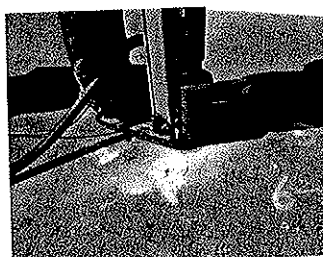
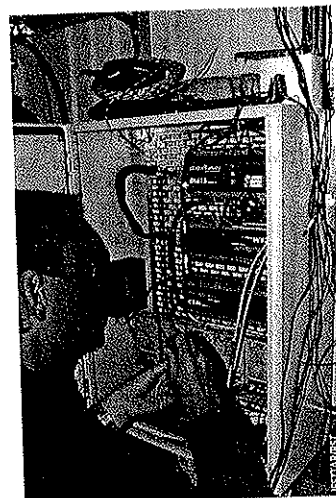


Photo 1  
Mesure de densité à 10 mois  
Density measurement 10 months  
after laying



Branchements des « sorties » des capteurs  
sur la centrale d'acquisition  
Connecting-up the sensors outputs  
on the data acquisition device

### Evolution de la teneur en eau

Un prétraitement des données issues des sondes d'humidité montre que la teneur en eau se stabilise à courte échéance. Elle varie entre 1 et 3,5 % en fonction de la période de mesure. Ces valeurs sont en cohérence avec les contrôles de teneur en eau réalisés sur les prélèvements *in situ*, en particulier pour la correction des pourcentages de vides. Les analyses issues des mesures des sondes d'humidité seront à affiner lorsque l'exploitation sera complète.

## Température moyenne au cœur de la GE

La figure 3 présente les profils de température mensuels moyens relevés dans la couche de GE en 2009 ainsi que le profil moyen

tant le recours à un protocole commun. Ces travaux font l'objet d'un article à suivre de la série. Les résultats de suivi temporel de la consistance du liant y seront présentés.

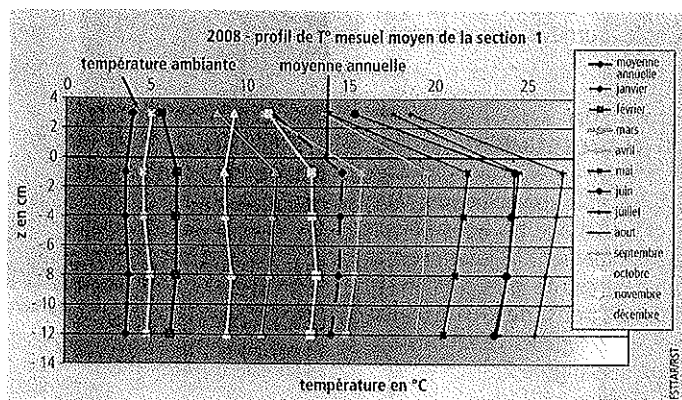


Figure 3  
Evolution des gradients de température verticaux moyens mensuels en 2009 dans la couche de GE  
Average monthly vertical temperature gradient in 2009 inside the emulsion treated gravel layer

annuel, avec en ordonnée la profondeur du point de mesure et en abscisse la température (en °C). A l'ordonnée fictive « +3 » correspond la température ambiante.

Le profil moyen en 2009 était situé à 15 °C. Ceux des mois d'octobre à mars sont situés en dessous de cette température, le plus froid étant le mois de janvier. Les mois d'été se caractérisent par un profil moyen de température non linéaire, les températures moyennes mesurées en surface étant les plus élevées. En 2009, le mois le plus chaud, vu par la chaussée, a été le mois de juillet.

## Indicateurs d'état ; mesures en laboratoire sur prélèvements

Les prises d'échantillons ont permis la réalisation d'essais de laboratoire sur les constituants et sur le prélèvement lui-même après conditionnement en corps d'éprouvette.

## Evolution du liant

L'évolution de la consistance du liant a été mesurée après extraction par dissolution par quatre laboratoires publics et privés. Il est constaté une certaine divergence entre laboratoires nécessi-

## Evolution de la rigidité

L'évolution de la rigidité du mélange a pu également être observée à partir d'essais sur des corps d'éprouvettes issus de prélèvements de plaques ou de carottes. Les essais de module réalisés selon la norme NF EN 12697-26 [5] correspondent à ses annexes suivantes : module complexe en flexion deux points sur éprouvettes trapézoïdales (2PB-TR) et en flexion sur barreaux (2PB-PR) (annexe A), module en traction directe à la MAER (IT-PR) (annexe E) et module en compression diamétrale (DT-CY) (annexe C).

Il est à noter que les évolutions des modules au cours du temps présentent des singularités quel que soit l'essai considéré (tableau 1).

Le module augmente pendant les périodes estivales. Cependant, ce gain paraît réversible ; en effet, le module semble diminuer ou stagner après l'hiver. Les résultats obtenus ne permettent pas de valider ces tendances avec certitude ; en effet, les résultats sont assez dispersés et les conclusions peuvent varier selon l'essai considéré. Cependant, l'accroissement de la rigidité pendant l'été et sa diminution après l'hiver ont été également observés sur les deux autres chantiers expérimentaux instrumentés du RST [11]. Les comparaisons entre essais, les résultats détaillés et leur analyse seront décrits dans un article à suivre de la série.

## Indicateurs d'état ; évaluation structurelle

Les suivis temporels des indicateurs observables en surface ne sont pas abordés ici. Il peut être retenu qu'après 3 années de mise en service, le gestionnaire de la voie n'a pas jugé utile de recouvrir la GE (comme pour les deux autres chantiers expérimentaux instrumentés du RST).

Il peut être néanmoins observé des chemins de fissuration qui commencent à remonter à la surface de la chaussée. Ce sont des fissurations ascendantes provenant très majoritairement de pathologies de la structure d'origine.

## Réponse globale de la structure

La figure 4 présente l'évolution des bassins de déflexions obtenus par les auscultations avec le *Falling weight deflectometer* (FWD) du LRPC de Saint-Brieuc, sous une charge ponctuelle normalisée de 60 kN [10, 12, 13], en fonction de la distance des géophones. Cette évolution a été relevée sur une période s'étalant d'un mois avant à 15 mois après la mise en œuvre de la couche de GE. Les bassins sont calculés par interpolation linéaire à partir de ceux mesurés à hauteurs de chute contrôlées. Ces bassins correspondent au sens Bruz-Goven au droit de la zone instrumentée.

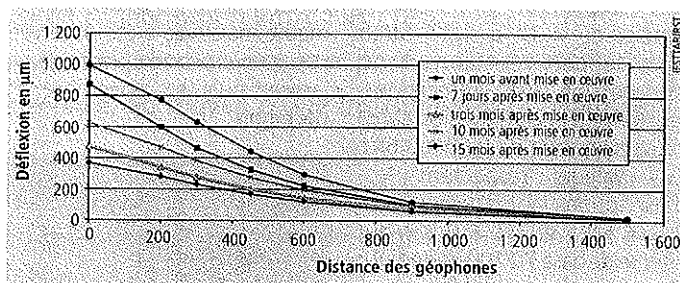


Figure 4  
Evolution temporelle du bassin de déflexion sous charge ponctuelle normalisée à 60 kN - Exemple de la réponse de la structure dans la zone instrumentée  
Evolution with time of the deflection bowl under 60 kN standardized punctual loading - Example of the pavement response inside the instrumented area

Prélèvement/ chantier	% Vides Moyen	Compression diamétrale Module 10 °C - 124 ms		Module complexe 15 °C - 10 Hz			Module en traction directe 15 °C - 0,02 s	
Age (mois)		Age au moment de l'essai (mois)	Valeur moyenne (MPa)	Age au moment de l'essai (mois)	(2PB-TR) Valeur moyenne (MPa)	(2PB-PR) Valeur moyenne (MPa)	Age au moment de l'essai (mois)	Valeur moyenne (MPa)
3 (après été)	11,5	5	3 250					
10 (après hiver)	11	15	3 080	14	1 964	2 495	14	2 028
15 (après été)		17	3 070					
		19	3 530	19	2 647	3 856	20	3 413
23 (après hiver)	10,9	24	3 990	26	2 659	3 800	26	2 799
29 (après été)	11,5	30	3 840	31	2 528			
		31	4 230	32		3 500	32	3 065

Tableau 1  
Evolution des modules de la GE en place au cours du temps  
Evolution with time of the site emulsion treated gravel stiffness

Un mois avant la mise en œuvre, le bassin de déflexion présentait un point d'inflexion (entre 0 et 200 mm) qui s'est atténué après le rechargement en GE [4]. Si le bassin de déflexion confirme une augmentation globale de la rigidité de la structure après chaque été, il est également observé une réversibilité de ce gain lors de la période hivernale (mesures réalisées à 3 mois en octobre 2008 et 10 mois en mars 2009).

La comparaison des bassins n'est pas remise en cause par la température de la GE lors des essais. En effet, ces variations de température induisent des variations de géométrie des bassins de second ordre.

Ces mesures permettront d'effectuer des rétro-calculs pour remonter aux modules des matériaux à partir de la réponse globale de la structure.

## Comportement structurel local de la couche de GE

Le dernier indicateur présenté est un exemple des évolutions des mesures de déformations longitudinales réversibles en « flexion » sous charge roulante (essieu standard du deflectographe Flash du LRPC de Toulouse) issues des données recueillies à l'aide des fibres optiques expérimentées par le RST.

La figure 5 présente l'évolution du signal d'un extensomètre depuis la mise en œuvre jusqu'au suivi de mai 2010, soit sur une durée de 22 mois. Deux points sont à retenir : la diminution de l'amplitude maximale du signal qui confirme une augmentation

de la rigidité de la structure en fonction du temps et le comportement réversible de ce gain en période hivernale. Cela est à mettre en relation avec les variations de module observées sans que celles-ci soient a priori imputables aux variations de teneur en eau du mélange.

## Conclusions

La réalisation du chantier expérimental instrumenté de GE sur la RD 44 en Ile-et-Vilaine a permis de mettre en application la méthodologie d'instrumentation développée par l'IFSTTAR et le RST. Ses résultats complètent les acquis obtenus lors des deux chantiers précédents de GE structurantes instrumentés par des capteurs internes/externes et faisant l'objet d'un suivi approfondi (RD 20 en collaboration avec le conseil général de Haute-Garonne et site du LRPC de Toulouse [3, 7, 11, 12]).

Les investigations ont montré une densification précoce dans les semaines qui ont suivi la mise en œuvre et une augmentation de la rigidité de la GE avec le temps. Ces évolutions sont en cohérence avec celles des indicateurs de suivi de la réponse globale de la structure (bassin de déflexion) ou locale (déplacements verticaux, déformations en flexion en fond de couche de GE sous charges roulantes ou ponctuelles). Un « cyclage » été-hiver des propriétés rhéologiques de la GE semble apparaître. Il doit encore être mis en relation avec les mesures d'évolution structurale de la chaussée.

Trois années après sa construction, la chaussée présente un bon état général et l'état de surface de la couche de GE ne montre pas de pathologies révélant un besoin de protection par une couche de roulement. Les critères de ruine de la couche de GE qui, rappelons-le, n'est pas revêtue, ne sont pas atteints. Les suivis temporels sont actuellement programmés sur 5 ans.

Les prochains articles de cette série viendront compléter et/ou détailler ces premiers résultats. L'exploitation des données est en cours. Elle est à poursuivre ainsi que l'analyse détaillée des résultats. ■

## Remerciements

Les auteurs remercient les agents des LRPC de Saint-Brieuc, Toulouse, Autun, Clermont-Ferrand, du Groupe Matériaux pour infrastructures de transport de l'IFSTTAR, le parc départemental de l'Équipement de Rennes pour leurs contributions à cette étude. Ils remercient également l'USIRF pour son soutien financier et le conseil général d'Ile-et-Vilaine pour son implication constante et sa participation aux travaux.

## BIBLIOGRAPHIE

- [1] L. Wendling, D. Guedon, V. Gaudefroy, I. Odie, J.-C. Fabre, J.-M. Balay, A. Millien, C. de La Roche, Chantier expérimental de la RD44, présentation du site et de son instrumentation, Revue générale des routes et des aéroports (RGRA), n° 898, novembre 2011, pp. 101-107
- [2] L. Wendling, D. Guedon, V. Gaudefroy, I. Odie, J.-C. Fabre, J.-M. Balay, A. Millien, C. de La Roche, Méthodologie de préparation, d'instrumentation et de suivi de chantiers expérimentaux d'enrobé à froid à l'émulsion de bitume, Revue générale des routes et des aéroports (RGRA), n° 897, octobre 2011, pp. 75-81
- [3] L. Wendling, D. Guedon, J.-C. Fabre, V. Gaudefroy, C. de La Roche, L. Odie, "Methodology to assess *in situ* cold bituminous mix behaviour: example of a French experimental jobsite, Proceedings of the Euraspalt and Eurobitume 4th Congress, Copenhagen, Denmark, p1547-1556, mai 2008
- [4] J.-P. Serfass, Enrobé à l'émulsion - particularité et nouvelle méthode d'étude, Symposium sur les enrobés à l'émulsion 26 septembre 2002, 3<sup>e</sup> congrès mondial de l'émulsion, Lyon
- [5] Norme NF EN 12697-26, « Méthodes d'essais pour mélange hydrocarboné à chaud - Partie 26 : Module ». AFNOR, décembre 2004
- [6] Norme NF EN 12697-22, « Méthodes d'essais pour mélange hydrocarboné à chaud - Partie 22 : Essai d'ornièrage ». AFNOR, septembre 2007
- [7] V. Gaudefroy, L. Wendling, L. Odie, J.-C. Fabre, C. de La Roche, "Laboratory characterization of cold mix treated with bitumen emulsion", Proceedings of the Euraspalt and Eurobitume 4th Congress, Copenhagen, Denmark, p1557-1567, mai 2008
- [8] Norme, NF P 98-251-4, Essais statiques sur mélanges hydrocarbonés - Partie 4 : Essais Duriez sur mélanges hydrocarbonés à froid à l'émulsion de bitume. AFNOR, août 2004
- [9] Norme, XP P98-121, Assises de chaussées - Graves-émulsion - Définition - Classification - Caractéristiques - Fabrication - Mise en œuvre. AFNOR, février 2005
- [10] F. Cisse, Étude comparative des méthodes de mesure de la déflexion des structures de chaussée sous charge : performances et matière de dimensionnement et de diagnostics. Application au site expérimental de la RD 20 Toulouse. Projet de fin d'études, Université de Limoges, 2007
- [11] L. Wendling, V. Gaudefroy, La route durable et les techniques à froid : la RD 20 en Haute-Garonne. Séminaire du conseil général 31, des conseils généraux limitrophes, de la DIR Sud-Ouest et de la Communauté urbaine de Toulouse, Toulouse, 26 Novembre 2009
- [12] L. Wendling, V. Gaudefroy, Optimiser et les chantiers expérimentaux en grave-émulsion, étude 2006, Journées techniques routes du LCPC, Nantes, février 2007
- [13] N. Dieng, Evaluation *in situ* des performances mécaniques d'un rechargement de chaussée de type grave-émulsion. Projet de fin d'études, Université de Limoges, 2009



## Behaviour and design of grave-emulsion Public-private cooperation RD 44 experimental site Behaviour survey with time

The experimental site on the Departmental Road 44 (RD 44), near Rennes carried out in collaboration between IFSTTAR, the Equipment French scientific and technical network and the "Union Syndicale des Industries Routières Françaises" (USIRF), aims at surveying the material mechanical and physical characteristics evolutions all along the manufacturing and laying processes, as well as during the service life, thanks to the use of *in built* and adapted instrumentation. This article is the second one of a series of two devoted to this experimental site. It describes the investigations carried out on the material taken from the plant and on the evolution with time of the *in situ* material behaviour thanks to internal and external surveys. This article is the forth one among the series devoted to the study undertaken by the IFSTTAR, RST and USIRF companies group.

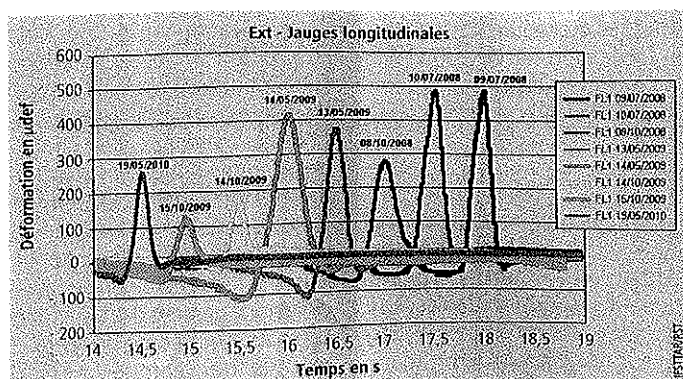


Figure 5  
Evolution des mesures de déformations longitudinales (fibres optiques)  
Evolution of longitudinal strain measurement (optical fibres)